

穀類の Vitamin B₁ の組織化学的研究

西 田 幸 子*

Histochemical Study on Vitamin B₁ in Cereals

Yukiko Nishida

I. 緒 言

細胞や組織内に存在する物質を化学反応を利用して顕微鏡下にその局在を証明するのを細胞、組織化学という。

Vitamin B₁ (以下B₁と略称) の組織化学的研究については、わが国では荒木らが主として人や動植物を用いてチオクローム反応を応用した二次蛍光をとらえる術式を確立し広範な研究業績を発表している。

穀類に含まれるB₁の組織化学的研究についても平¹⁾₂₎₃₎₄₎、竹生⁵⁾₆₎₇₎らの研究があり、また、外国では Somers⁸⁾ ら、Pollock⁹⁾ ら、Simpson¹⁰⁾ らにより行われているが、いまだ系統的な研究はみあたらない。

著者は穀類などについてB₁の分布を組織化学的に荒木らの方法にしたがいできるだけ系統的に調べているが、そのうち数種のものの総B₁の分布について、また、そのほか通常行なう調理によってB₁の局在がどのように変動し、損失するかなどを検索したので、とりあえずここにこれらについて報告する。皆様の御批判を得たいと思う。

II. 実 験 の 部

II-I. 実験方法

II-I-I. 原 理

B₁をアルカリ性において赤血塩で酸化すると碧青色の蛍光を発するチオクロームを生じる。

II-I-II. 器 具

* 本学栄養生理学研究室

本論文の要旨は昭和43年10月東京における第20回日本家政学会総会において講演した。

なお、本原著では本学食物学会会員である多くの学生諸姉に理解されやすいように解説的にした。

顕 微 鏡：オリンパス HLS-II

光 源：超高圧水銀灯 AHL-250 W

フィルター：UV 励起フィルター、DV-I, BG-12
鏡筒フィルター、L-42, B-56

スライドガラスおよびカバーガラス：無蛍光のもの

II-I-III. 試 薬

i) 固定液：無水アルコール

ii) 脱盲蛍光液：イソブタノール

iii) 反応液：A液……4%赤血塩液

B液……40%カセイソーダ液使用に際してA液およびB液を等容混和する。

iv) その他の薬品など

ゼラチン、グリセリンなどはすべて無蛍光のものを使用する。

II-I-IV. 標本作製

i) 固定：無処置のまま、または、無水アルコールで12~24時間固定した後、次のように切片を作る。

ii) 切片作製

ii-i) 凍結切片法：無処置のまま凍結切片とする。なお、さらに良好な成績を得るためにはクリオスタットにより-20℃に凍結後切片にするがよい。

ii-ii) パラフィン切片法：試料固定後、ベンゼンを通してアルコールをぬき、ベンゼンパラフィン、パラフィンを通して包埋する。その際、孵卵器の温度は58~60℃とし3時間停滞とする。

ii-iii) ゼラチン切片法：無処置の試料を10%ゼラチン液、次いで20%ゼラチン液に通して包埋後凍結切片とする。孵卵器温度は58~60℃とし各ゼラチン液に30分ずつ通して包埋する。

このようにして作られた試料を切片とする場合には通常胚芽を附した縦断面に平行に30ミクロンの厚さに

切る。凍結切片およびゼラチン切片はただちにスライドグラスにのせイソブタノール中で3～5分振盪してできるだけ組織の盲螢光を除く。パラフィン切片はベンゼンを通してパラフィンをぬき、前に記したと同様の方法で盲螢光を除く。

II-I-V. 染色

脱盲螢光した切片は室温でイソブタノールを蒸発させた後、上記のごとく4%赤血塩および40%カセイソーダ液の等容混和液を1～2滴滴下し1～2分間作用させた後、軽く水洗しグリセリンを滴下しカバーガラスをのせる。このようにして得られたものを総B₁の標本とする。

II-I-VI. 検鏡

検鏡に際してB₁が存在すれば本法によりチオクロームの碧青色の螢光をみとめる。

II-I-VII. 吟味

盲螢光をみるため対照標本として

i) 無染のもの

ii) 4%赤血塩を用いず40%カセイソーダ液のみにて染色操作を行なったもの。

iii) 無染標本にアノイリナーゼ⁸⁾を一滴滴下し、これに4%赤血塩および40%カセイソーダ液の等容混和液を加えたもの。これはB₁分解酵素であるアノイリナーゼによってB₁は分解しているからチオクローム反応は陰性となるはずである。

これらのものを互に比較検討することによりB₁の存在を確認することが可能となる。なお、組織学的検索には同時にヘマトキシリン・エオジン染色を行う。

II-II. 試料

試料については実験実施当時、すなわち、42年度産のものを使用した。便宜上これを第1表に表示した。

なお、玄米、5分つき米、7分つき米、および精白米をそれぞれ1) 軽洗い(3回水洗)、2) 淘ぎ洗い(10回水洗)、3) 軽洗後炊飯したものについてB₁の変動を調べた。また、とうもろこし、小豆については95±2℃で50分間沸騰持続したもの、大豆は20時間水に浸漬後3時間沸騰持続したもの、すなわち、普通にいう水煮をした場合についてそれぞれB₁の螢光を検索した。

II-III. 穀類の構造と名称について

穀類各部位の構造や名称、または、その意義などについては学者によりそれぞれ多少ともその記載が異なっている。著者は植物に関する二・三の書物を参考として次のように分類した。

米、麦、とうもろこしなどの穀類および豆類は植物学的にいえば果実に相当する。従って、皮(外皮)と

第1表 試料

試料名	品 種	産 地
玄 米	米	代
5分つき米	〃	〃
7分つき米	〃	〃
精 白 米	〃	〃
強 化 米	ポ リ ラ イ ス	市 販 品
小 麦	農 林 6 1 号	福 岡 県
大 麦	博 多 2 号	〃
え ん ば く	飼 料 用	〃
あ わ	〃	市 販 品
ひ え	〃	〃
とうもろこし	甲州とうもろこし	山 梨 県
大 豆	鶴 の 子	北 海 道
小 豆	大 納 言	京 都 府

備考 1. 試料はすべて昭和42年度産である

2.

歩止り	玄米	5分つき米	7分つき米	精白米
%	100	95	93	91

果肉(胚乳)および種子(胚芽)を具えている。

II-III-I. 米について

i) 米ではもみ(粃)がこの果実に相当するが、少しちがうところは外側に厚いもみがら(稃)があるが、このものは内外2枚の厚い皮からなり内部を保護する。そして発生学的には著者の表に出てくる子葉鞘に相当する。しかし、玄米では脱穀されてすでにない。

このもみがらに包まれている子房が成熟すると玄米となる。玄米は略図、第1図、第2図、第3図および写真1に示すように外皮をかぶりその中に胚乳と胚芽が蔵されている。このような構造の中に存在するB₁の局在を調べるために著者はこれをさらにくわしく次のように分類した。

すなわち、外皮はさらに果実と種皮の2層に分かれ、外側にあるのを果皮といい厚く数層からなるが、多くは線維状で水分の浸入に対して抵抗性をもっているようである。その内側にある種皮はうすいがこれもまた2層に分れる。そうしてこの外皮は部位により厚さを異にし、あとでのべる胚芽を被う部位では特に厚い。5分つき米などでは胚芽の部位がたやすく脱落しないのはこの厚い外皮のためであろうと著者は考えている。

次に胚乳は玄米の約85～90%以上をしめ、やはり2層からなる。種皮に接する外側にうすい糊粉層がある。しかし、この層を形成する細胞の細胞膜は厚く、なかにある細胞形質は蛋白質と脂肪に富む。内側には澱粉層があり、この層は厚く個々の細胞は大きくてなかに

は多量の澱粉と多少の蛋白質を含む。この層では細胞と細胞の間隙はあらく、そこに蛋白質がみたされている。

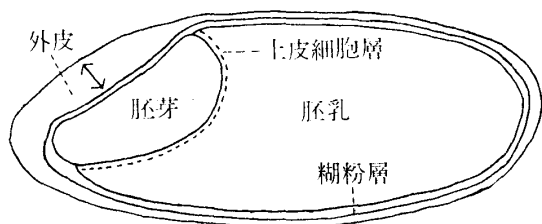
次に胚芽は上述のごとく特に厚い外皮に守られてその一隅に位置をしめておるが玄米の10%以内の小部分である。胚芽自身をさらに分類すると子葉鞘（もみがらとなる部）と子葉（葉となる部），幼芽（茎となる部），幼根（本根となる部），幼根鞘（側根となる部）などがそれぞれ中央部をしめ、これを取りまくように胚盤がある。胚盤にはところにより胚芽の成長に必要な養分を胚乳から分解吸収するための種々な酵素，すなわち，Diastase, Protease, Lipase, Zytase（線維素分解酵素），Oxydase, Catalase などを新生する部位（上皮細胞層）があるといわれる。

ii) 5分つき米（歩止り95%）では上にのべた外皮および胚乳のうちの糊粉層の一部なども破壊されているが，胚芽を被う外皮は厚いのでなおよく保護されている。

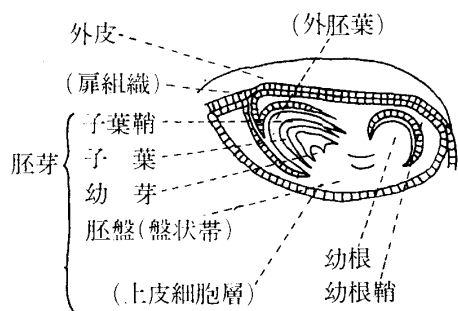
iii) 7分つき米（歩止り93%）や精白米（歩止り91%）では外皮や胚乳の各層の破壊はもちろん，5分つき米ではなおよく保持されていた厚い外皮も破壊されているので胚芽の大部分もほとんど脱落している。

II-III-II. 麦類，とうもろこしなどについて

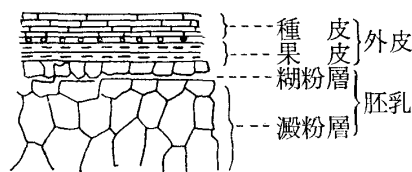
i) 麦やとうもろこしの構造やその名称は米のそれとよく似ている。ただ，とうもろこし，ひえなどについてはその品種により胚乳の澱粉層が蛋白質を多く含む硬質澱粉（角質）とこれを含まない軟質澱粉（粉状質とよぶ）にちがいがあるとされている。



第1図 米の縦断面



第2図 米の胚の部分の拡大図



第3図 米の胚乳の拡大図

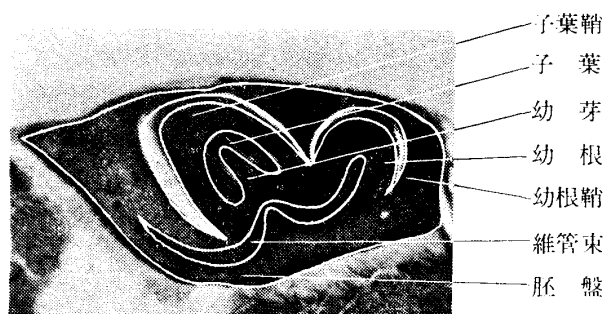
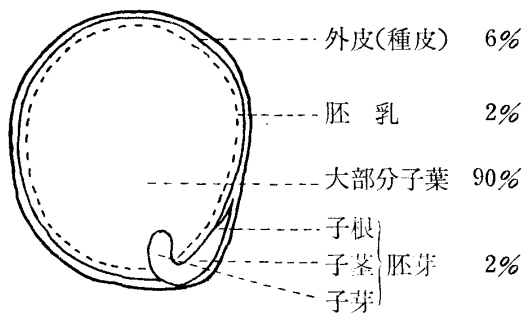


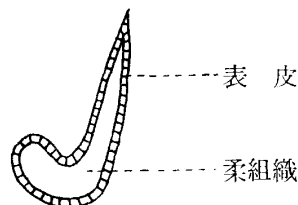
写真1 玄米の胚芽(縦断面)

II-III-III. 豆類について

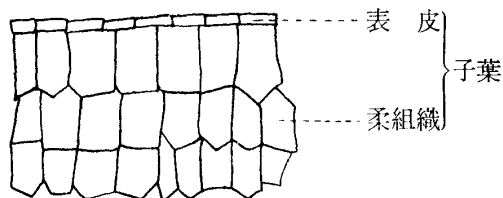
豆類では各部位の重量比は米，麦などとやや異なり，外皮は果皮と種皮とよりなるが，一般に果皮は明らかでない。このものは全体の6%をしめる。その下部，すなわち，胚乳との間に間質組織にあたる柔組織がある。胚乳はうすくわずかに全体の2%である。胚芽は



第4図 大豆の縦断面



第5図 大豆の胚芽の拡大図



第6図 大豆の子葉の拡大図

これに反し92%をしめるが胚芽のうち子葉のしめる部位は90%の大量である。

III. 実験成績

III-I. 実験成績の取り扱い方について

実験に際して試料をどのような動物や植物の種類について選ぶかは重要な問題であることは論をまたない。ことに植物組織では栽培地、栽培条件、採取時期や貯蔵方法などで同一品種のものでも個体間の差は大きい。なかんずく、 B_1 のごとき消長のはげしいものではこれらの条件のいかんによってその分布量にはかなり著しい差がみとめられるので著者のこの実験ではできるだけ各地から試料を集め、その後一定条件*のもとに保存し検索の対象とした。

さて、こうして実験を試みる場合、組織化学的方法をその手段として用いるときの長所と短所を考えると、一方では確かに細胞や組織内の B_1 の局在とその消長を確実に把握できる点で有利な方法ではあるが、他方、定量的な方法としてはなお多くの難点のあることはいふまでもない。そのうちでもことに切片の厚さを常に一定に保つことの困難さに到達する。一般的にいて、組織化学の実験において通常われわれが取り扱っているミクロトームを用いる場合、さらに、もっと精巧な電顕用の超薄ミクロトームを使ってさえ、いかに操作を慎重に行なっても厚さの「ずれ」からくる量的な誤差はどうしてもさけ得られない。この点が組織化学がもつ一番弱い、いわゆる“泣きどころ”でもある。従って、真の意味における定量的な結果については、なお検討の余地が充分に残されていることを一応承知の上で著者は組織内の B_1 の量的なよりどころを求めるため、われわれが再三繰り返して行なった Planimetric**な予備実験の成績を基として、この実験において30ミクロンの切片に現われる B_1 蛍光の強さが大体50%前後のものを冊とし、40%程度のものに冊、20~30%のものに冊、5~10%程度のものに+、5%以下と思われるものに+の表示を行なうことにした。

* デンケーター中にて2~4℃

** Planimetry 顕微鏡のオブジェクトグラス上に基板縞に区画された一定面積を予め測定しておく。次にこれを可検物の大きさと比較すると可検物の当該面積が概算される。それに30 μ をかけると体積が得られる。その蛍光度を既知のものと比色する。原理は Jakob Amsler (1854) による。

参考文献: Collier's Encyclopedia 15, 451, (1960)

なお、現在は顕微鏡による自記定量比色計が西独 Zeiss から発売されているがずいぶん高価である。

III-II. 各種穀類の B_1 の分布について

III-II-I. 米の B_1 の分布について

i) 玄米の B_1 の分布について

玄米の B_1 の分布は胚芽に最も多く(冊程度)、胚乳(冊~+程度)、と外皮(+~+程度)には少ない。すなわち、胚芽内では子葉、幼芽、幼根、胚盤などに最も多く(冊)、子葉鞘、幼根鞘などではこれよりやや少ない(冊)。そのほか、維管束、胚軸、上皮細胞層にもきわめて多くの B_1 が分布している(冊)。胚乳では一般に糊粉層に多く(冊)、澱粉層には少ない(+). 外皮のうち種皮には通常黄緑色の強い固有螢光があり、この固有螢光は前処置によってもなかなか除去しがたいが、果皮よりわずかに多く(+) B_1 が分布しているようである。

ii) 5分つき米の B_1 の分布について

5分つき米の B_1 の分布は搗精によって外皮が部分的にとり除かれているほかは、その所見は玄米とはほぼ同様である。すなわち、5分つき米においては外皮の損傷はなお軽少であり、ことに胚芽を被う厚い外皮が多くの場合なおよく保存されていることがヘマトキシリン・エオジン染色によってみとめることができる。

iii) 7分つき米の B_1 の分布について

7分つき米ではもはや胚芽を被う厚い外皮はむろんのこと、そのほかの外皮もすでに損傷、脱落し、胚芽の大部分や胚乳も部位的に欠損しているので B_1 もまた澱粉層(+)と胚芽のうちの残存胚盤(冊)にのみ、みとめるにすぎない。しかし、胚乳の両層がなおある程度にでも残っている場合は糊粉層(冊~+程度)お

第2表 米の B_1 の分布

部位	種類	種類				
		玄米	5分つき米	7分つき米	精白米	強化米
外皮	果皮	+	+~+	-	-	-
	種皮	+	+~+	-	-	-
胚乳	糊粉層	冊	冊~+	冊~+	+~+	-
	澱粉層	+	+	+	+	冊
胚芽	子葉鞘	冊	冊	-	-	-
	子葉	冊	冊	-	-	-
	幼芽	冊	冊	-	-	-
	幼根	冊	冊	-	-	-
	幼根鞘	冊	冊	-	-	-
	胚盤	冊	冊	冊	-	-

備考 冊: 50% 冊: 40% 冊: 20~30%

+ : 10% + : 5%以下を表わす

第3表以下同じ

よび澱粉層に（+〜+）程度にみとめられる。

iv) 精白米のB₁の分布について

精白米においてはすでに外皮、胚芽、糊粉層などがすべてが7分つき米以上にとり除かれているので胚乳の澱粉層に（+程度）にみとめられるにすぎない。

v) B₁強化米について

B₁強化米では精白米の残存胚乳の澱粉層に内部までB₁がよく浸透しているのが認められ、その程度はほぼ（+）に匹敵している。

III-II-II. 麦類のB₁の分布について

i) 小麦のB₁の分布について

小麦のB₁の分布は第3表に示すごとく玄米と同様に胚芽に最も多く（卅），胚乳（+〜+）および外皮には比較的少ない（+〜+）。胚芽のうちでは子葉，幼芽，幼根，胚盤などにやはり多く（卅），子葉鞘，幼根鞘などにはやや少ない傾向がある（卅）。そのほか，上皮細胞層（第2図参照）にもきわめて多く（卅）B₁が分布している。

胚乳では糊粉層に多く（+），澱粉層には少ないが（+），しかし，玄米の澱粉層（+）と比べるとやや多い。外皮では種皮には（+程度）のB₁を認めるが果皮には±の判定となりB₁の分布はまずみとめがたい状態である。

ii) 大麦のB₁の分布について

大麦のB₁の分布は小麦と同様にやはり胚芽にきわめて多く（卅〜卅），胚乳（+〜+），外皮にはやはり少ない（+〜+）。

胚芽では子葉，幼芽，幼根，胚盤などにもっとも多く（卅），子葉鞘などにはこれよりやや少ない（卅）ことも，また，胚乳では糊粉層に（+程度）と胚粉層にはやや少ない（+）ことなども小麦の場合と同様で

ある。外皮では種皮（+）には小麦の場合よりもやや多く果皮にはこん跡程度（±）をみとめるにすぎない。

iii) えんばくのB₁の分布について

えんばくのB₁の分布はほかの小麦や大麦と同様に胚芽に多い（卅〜卅）。胚芽のうちでは子葉，幼芽，幼根，胚盤などには（卅）程度にあり，子葉鞘，幼根鞘などではこれよりも少ない（卅）。そのほか，将来茎となる胚軸にもやはり（卅）程度のB₁の分布をみとめる。

胚乳ではやはり澱粉層（+）よりも糊粉層に多い（+）傾向がうかがえる。外皮では果皮にはB₁をみとめがたいが（±），種皮では大麦と同様に（+）程度のB₁をみとめる。

III-II-III. あわ，ひえのB₁の分布について

i) あわのB₁の分布について

あわのB₁の分布も玄米や麦類とほとんど差違はなく胚芽に多く，胚乳，外皮の順に少ない傾向がある（卅〜卅）。胚芽では子葉，幼芽，幼根，胚盤などにやはり（卅）程度に多く，そのほか，上皮細胞層にも（卅）程度のB₁がみとめられる。子葉鞘，幼根鞘などではB₁量はやはりやや少なく，これは米や麦類とほぼ同じ程度（卅）と考えられる。胚乳では糊粉層に多く（卅），澱粉層では少ない（+）が，米の澱粉層（+）よりはやや多い。また，維管束の部位にも（+）程度のB₁がみとめられる。外皮では果皮には（-）の判定を与えているが，種皮には（+）程度のB₁の分布がみとめられる。

ii) ひえのB₁の分布について

ひえのB₁の分布もあわと同じ程度である。すなわち，胚芽に多く，胚乳，外皮には少ない。胚芽では（卅）または（卅）のB₁の分布量をみとめることは，あわと

第3表 麦類のB₁の分布

部位	種類		小 麦	大 麦	えんばく
	組織				
外 皮	果 皮		±	±	±
	種 皮		+	+	+
胚 乳	糊粉層		+	+	+
	澱粉層		+	+	+
胚 芽	子葉鞘		卅	卅	卅
	子 葉		卅	卅	卅
	幼 芽		卅	卅	卅
	幼 根		卅	卅	卅
	幼根鞘		卅	卅	卅
	胚 盤		卅	卅	卅

第4表 あわ，ひえのB₁の分布

部位	種類		あ わ	ひ え
	組織			
外 皮	果 皮		-	±
	種 皮		+	+
胚 乳	糊粉層		卅	卅
	澱粉層		+	+
胚 芽	子葉鞘		卅	卅
	子 葉		卅	卅
	幼 芽		卅	卅
	幼 根		卅	卅
	幼根鞘		卅	卅
	胚 盤		卅	卅

ほぼ同じである。ひえの品種によっては胚乳の澱粉層に蛋白質を多く含む硬質澱粉(角質)と、これを含まない軟質澱粉層(粉状質)があることは前にものべたが、この場合、後者に B_1 はやや少ない傾向がある。また、維管束に一致する部位にも(卅)程度の B_1 がみとめられることもあわと同様である。外皮では果皮には(±)の程度であるが、種皮には(+)程度の B_1 がみとめられる。

III-II-IV. とうもろこしの B_1 の分布について

とうもろこしの B_1 の分布の量も概して米、麦類に似ている。すなわち、胚芽にきわめて多く(卅~卅), 胚乳(卅~卅), 外皮(卅~+)の順に少なくなっている。胚芽では子葉, 幼芽, 幼根, 胚盤などにやはり多く(卅), 子葉鞘, 幼根鞘などにはこれよりやや少ない(卅)。上皮細胞層にも多く(卅) B_1 が分布している。胚乳では糊粉層に多く(卅), 澱粉層には少ない傾向がある(卅)。また、品種の相違によるものとしてはひえと同様に胚乳のうち軟質澱粉層(粉状質)の方が硬質澱粉層(角質)より少なく B_1 がみとめられる。また、維管束の位置に一致して B_1 が(卅)程度みとめられる。外皮のうち果皮には(+)程度, また、種皮にはかなり多く分布している(卅)。

第5表 とうもろこしの B_1 の分布

種 類		とうもろこし	
部位	調理法	生	水 煮
	組織		
外 皮	果 皮	±	—
	種 皮	卅	+
胚 乳	糊粉層	卅	+
	澱粉層	卅	+
胚 芽	子葉鞘	卅	卅
	子 葉	卅	卅
	幼 芽	卅	卅
	幼 根	卅	卅
	幼根鞘	卅	卅
	胚 盤	卅	卅

III-II-V. 豆類の B_1 の分布について

i) 大豆の B_1 の分布について

大豆の B_1 の分布は米, 麦, とうもろこしなどに比べやや少ない(卅程度)。子葉と胚については胚にやや多く(卅), 子葉にすこし少ない(卅)。胚では子芽, 子茎および子根などには B_1 は同じ程度にみとめられ(卅), また、子葉のうちでは表皮細胞層(卅)はその

内部にある柔組織(卅)よりもやや多く B_1 が分布している。

ii) 小豆の B_1 の分布について

小豆の B_1 の分布は大体大豆の場合と同じ程度の B_1 の分布がみとめられる(卅)。すなわち、子葉, 胚にはほぼ等しく、ことに子葉では表皮細胞層(卅)が中心部の柔組織(卅)よりやや多い。種皮には B_1 はみとめられない。なお、大豆および小豆の B_1 は表皮細胞層では細胞全体に、また、柔組織では細胞質周辺部に B_1 の局在がみとめられる。

第6表 大豆および小豆の B_1 の分布

種 類		大 豆		小 豆	
部位	調理法	生	水煮	生	水煮
	組織				
外 皮	種 皮	±	—	—	—
胚 乳	表皮細胞層	卅	—	卅	—
	柔 組 織	+	+	+	—
子 葉	表皮細胞層	卅	+	卅	—
	柔 組 織	卅	卅	卅	卅
胚 芽	子 芽	卅	卅	卅	卅
	子 茎	卅	卅	卅	卅
	子 根	卅	卅	卅	卅

- 備考 1. 外皮のうち果皮は明かでない 6~8%
胚乳層はうすい 2%
子葉 90%
胚芽 2%
2. 大豆は20時間水浸後3時間煮沸小豆は
95±2℃で50分間煮沸

III-II-VI. 調理による B_1 の局在の変動およびその損失について

i) 玄米の調理による B_1 の変動について

玄米については軽洗(3回水洗)すると外皮のうち果皮も種皮もともにそのほとんどが流出している(±~—)。いわんや、淘ぎ洗い(10回水洗)ではもはや全くこの部の B_1 蛍光はみとめ得られないのは当然であろう。しかし、特に厚い外皮により守られている胚芽の各部位はほとんどその量に変動がないし(卅~卅), また、胚乳も糊粉層(卅), 澱粉層(+)ともその量に減少がみられない。これに反して、軽洗後炊飯すると以上の関係はよほど変わる。すなわち、胚芽の各部位、ことに子葉鞘や幼根鞘の B_1 の蛍光(卅)は著しく減少し(+), その他、子葉, 幼芽, 幼根, 胚盤(卅~卅)の B_1 蛍光もやや減少する(卅~卅)。これらは

いずれも炊飯によって外部へ流出移行するものと考えられる。また、胚乳でもB₁蛍光の移動がおこり、内部の澱粉層では同一部内で深部から表層へ、また、同様に糊粉層でもその部の外側へのB₁の移動がみとめられる。すなわち、軽洗後の炊飯では内部のB₁は外部へ著しい流出移動をおこすことである。

第7表 玄米の水洗および炊飯によるB₁の分布

種 類		玄 米			
部位	調理法	生	軽 洗	淘 洗	飯
	組織				
外 皮	果 皮	+	±	—	+
	種 皮	+	—	—	+
胚 乳	糊粉層	卅	卅	卅	卅
	澱粉層	+	+	+	+
胚 芽	子葉鞘	卅	卅	卅	+
	子 葉	卅	卅	卅	卅
	幼 芽	卅	卅	卅	卅
	幼 根	卅	卅	卅	卅
	幼根鞘	卅	卅	卅	+
	胚 盤	卅	卅	卅	卅

ii) 5分つき米の調理によるB₁の変動について

5分つき米では軽洗および淘ぎ洗いなどはせいぜい外皮のうち果皮と種皮のもつB₁の流出に止り、その他の部位には影響は少ないが、炊飯の場合には玄米炊飯の場合と同様に内部に存在するB₁の外方への移動がはげしく、すなわち、胚芽のうち、ことに子葉鞘や幼根

第8表 5分つき米の水洗および炊飯によるB₁の分布

種 類		5 分 つ き 米			
部位	調理法	生	軽 洗	淘 洗	飯
	組織				
外 皮	果 皮	±~—	±~—	—	±~—
	種 皮	±~—	±~—	±~—	±~—
胚 乳	糊粉層	卅~—	卅~—	卅~—	卅~—
	澱粉層	+	+	+	+
胚 芽	子葉鞘	卅	卅	卅	+
	子 葉	卅	卅	卅	卅
	幼 芽	卅	卅	卅	卅
	幼 根	卅	卅	卅	卅
	幼根鞘	卅	卅	卅	+
	胚 盤	卅	卅	卅	卅

鞘のB₁の外部移動は著しく(卅から+に減る)、そのほかの部位、すなわち、子葉、幼根、胚盤などにおいてもそれぞれ多少減少がみられる(卅から卅、または卅に減る)。これらの外部へ流出したB₁は外皮や胚乳の各層へ移行し、この部のB₁蛍光がやや増加している。

iii) 7分つき米の調理によるB₁の変動について

7分つき米の各部位におけるB₁量の概説はすでに第2表において示してあるごとく、胚芽を被う比較的に厚い外皮も破壊し、その内部にある胚芽のB₁もほとんど破壊消失し、わずかに胚盤(卅)にのこっている程度である。また、胚乳のうちでも澱粉層で(+), 糊粉層で(卅~—)を示し、その他の部位では全く(—)の状態を示していることは先にものべたが、このような米をさらに軽洗いや淘ぎ洗いしても(—)のものはや変化のしようもなく、いぜんとして(—)の状態にある。また、軽洗後の炊飯によっては残存胚盤のB₁の外部流出がおこり、この流出B₁は胚乳の糊粉層にわずかながら移動していることが(卅~—)知られている。

第9表 7分つき米の水洗および炊飯によるB₁の分布

種 類		7 分 つ き 米			
部位	調理法	生	軽 洗	淘 洗	飯
	組織				
外 皮	果 皮	—	—	—	—
	種 皮	—	—	—	—
胚 乳	糊粉層	卅~—	卅~—	卅~—	卅~—
	澱粉層	+	+	+	+
胚 芽	子葉鞘	—	—	—	—
	子 葉	—	—	—	—
	幼 芽	—	—	—	—
	幼 根	—	—	—	—
	幼根鞘	—	—	—	—
	胚 盤	卅	卅	卅	卅

iv) 精白米の調理によるB₁の変動について

精白米のB₁は第2表にみられるごとく、ほとんど破壊消失している胚芽にはもはやB₁の存在は確認のしようもなく、また、胚乳のうち澱粉層(+)と糊粉層(+)にわずかに残存するにすぎないが、この精白米を軽洗や淘ぎ洗いをする少量のB₁の流出はあるが、胚乳にはB₁量の少量がなお残存し、さらに、これに炊飯を加えてもこの部位のB₁量はさほどの減少や移動を示しておらない。

第10表 精白米の水洗および炊飯によるB₁の分布

種 類		精 白 米			
部位	調理法	生	軽 洗	淘 洗	飯
	組織				
外 皮	果 皮	—	—	—	—
	種 皮	—	—	—	—
胚 乳	糊粉層	±〜—	±〜—	—	±〜—
	澱粉層	+	+	+	+
胚 芽	子葉鞘	—	—	—	—
	子 葉	—	—	—	—
	幼 芽	—	—	—	—
	幼 根	—	—	—	—
	幼根鞘	—	—	—	—
	胚 盤	—	—	—	—

v) 水煮とうもろこしのB₁の変動について

とうもろこしを $95 \pm 2^\circ\text{C}$ で50分間煮るとB₁は外皮、胚乳、胚芽の各層において概ね同じ程度(±〜—)の移動流出がおこることが第5表によってうかがうことができる。このことは、すなわち、生の原穀にくらべ約半分量に近いB₁蛍光の減少を示していることを意味している。

vi) 水煮大豆および小豆のB₁の変動について

大豆は20時間水に浸したのち、3時間水煮したもので、また、小豆はとうもろこしの場合と同様に $95 \pm 2^\circ\text{C}$ で50分間煮た場合、両者ともに子葉の表皮細胞層では(卍)程度のB₁がほとんど全部流出しているのがみられる。これに比べて、内側に位置する柔組織でのB₁の流出や移動はそれよりもやや弱く概ね(+)程度の減少をみることができる。また、胚では子葉、子根ともに柔組織と同様に(+)程度の減少度を示しているが、もともとB₁の少ない種皮では大豆や小豆ともにB₁の蛍光は証明し得ない。これらの所見をさらにくわしくみるため強拡大を用いると個々の細胞には種々の崩壊過程がみられる。すなわち、変性や壊死のため、あるいは膨化、あるいは萎縮し、細胞形質蛋白の凝固に伴うB₁の位置と形態に変化をきたしていることが判然とする。たとえば、子葉の柔組織の細胞ではB₁は主として細胞形質の周辺部に寄り集り大小種々の塊となる傾向がみられるし、澱粉層では澱粉の糊化とともに膨化した細胞形質内にあかも浮き雲のごとき形を呈したB₁が散在している場合がある。さらに、また、熱水処理のためにおこる細胞相互の解離や崩壊により拡大された細胞間隙にまでB₁蛍光が拡がっていることが認められる。その他、大豆と小豆の水煮時間の差に

もかわらず長時間水煮した大豆のB₁の消失が時間の短い小豆にくらべ軽度であったことが印象的であった。

IV. 総括および考察

著者は栄養学的な見地から広く動植物に含まれるビタミンの系統的な組織化学的研究を行なっているが、本報ではそのうちの数種の穀類に含まれるB₁についてチオクローム法を利用した総B₁の組織化学的検索の結果についてふれている。

対象とした試料は米については玄米、5分つき米、7分つき米、精白米および市販のB₁強化米を用いた。また、麦類では小麦と大麦、えんばくの3種類を選んだ。その他、あわ、ひえ、とうもろこしおよび豆類のうちでは大豆と小豆を用いた。ことに調理栄養学の立場からこれらのものに水洗や炊飯、あるいは水煮を施したものについてB₁の消長やその局在の変動についても調べた。

元来、水洗いや炊飯、あるいは水煮のごときは台所仕事でも初步に属するはなはだ簡単な仕事である。しかし、このような誰でもがするきわめて基礎的な仕事のうちにも重要物質の趨移消長が秘められている。しかし、これを組織化学的にとらえた仕事は案外少ない。ことにB₁については著者のこの研究がおそらくは初めてであろうと考える。

いま、これを米についてみると、米を主食とする日本人の食生活も戦後は大きい変貌をみせ、戦前には不足の米を輸入にあおいだ時代もあったが、これも今は昔の語り草となり、今日はむしろ過剰米の処置に悩む時代であることは誰もがよく知るところである。しかし、そうかといって日本人にとって米が主食であることは根強く存続するものと思われる。

白米をのみ主として摂っていると脚気症状の起ることもまた周知のことであり、今日、強化米の広く行きわたっている理由もここにあるわけである。本書の主たる読者である本学食物学科の学生の皆さんに知ってもらうために少々廻り道になるが白米病、すなわち、脚気の話しを少し入れよう。

今の中共にはすでに随、唐の頃(1300~1400年前)に脚気が風土病として存在していたことが、富士川游の「日本医学史」¹¹⁾に記載されている。では日本ではいつ頃から脚気が現われたかは興味の深い問題である。玄米や半つき米、あるいはあわ、ひえの類を主食とした古代から中世へかけての日本人は体格もよく身長も比較的大きかったことがよく知られている。ところがいまから270年程前の徳川時代も中紀の元禄享保の頃、人々の心に贅沢な風潮がぎざし、主食も急に精白米に

変ってきた頃から江戸を中心とし、京都、大阪などの都市に脚氣が流行した。いわゆる「江戸わずらい」という言葉ができたほどである。このような脚氣症状はその後引続き現れ、明治時代に入るとひろく一般国民の間に拡がり、また、日清、日露戦争に将兵の中に多くの脚氣患者が出たことが報告されている。しかし、その後、近世に至り、1910年頃、鈴木梅太郎博士により米糠から B_1 のもとであるオリザニンが発見され、また、1907年頃、オランダの Eijkman によってほぼ同様のことが各々別個に研究され、これがやがて1910年の Funk¹²⁾ によるビタミンBの発見につながるわけである。

従って、米はむろんのこと、その他の穀類に含まれる B_1 の消長を知ることは上述のごとく食物栄養学の見地から非常に重要な事柄と言わねばならない。

さて、著者の研究であるが、著者は上記の穀類試料を胚芽を含む縦断面に30ミクロンの厚さに切りチオクローム法をこの切片に施して生ずる総 B_1 蛍光の強さと細胞内での局在を調べたわけである。しかし、組織化学の方法は定性にはしごく調法であるが定量には種々の条件、ことに切片の厚さを常に一定に保つことの困難さに制約されて現在では厳密な意味の定量にはなおいささか無理な所しりをまぬがれない。そのため著者らはこの実験の実施に先立ってあらかじめ行なった Planimetric な方法に基いて B_1 の大体の基準を定めた。すなわち、 B_1 量が 50% をⅢとし、40% をⅡ、20~30% をⅠとし、さらに、10% 程度を+、5% 以下を-として表示したのが第2表から第10表までの実験成績である。これらの表示をよくみると上述の穀類の総 B_1 は総じて胚芽に多い(Ⅲ~Ⅱ)。しかし、胚芽は穀類全面積からいうと%程度のきわめて小さい部分をしめているにすぎない。のこりのⅢ程度は胚乳がしめるが B_1 量は少なく(Ⅲ~+)の程度であり、もっとも少ないのが外皮である(+~-)。

さらにこれをくわしく分類すると胚芽のうちでは将来重要な役割をつとめるべき子葉、幼芽、幼根または胚盤などには玄米、小麦、大麦、えんばく、あわ、ひえ、とうもろこしおよび5分つき米では最高の(Ⅲ)程度が測定され、胚芽のうちでも将来の役割がやや低いと思われる子葉鞘や幼根鞘には心持ち B_1 量が少ないこと(Ⅲ)は興味深い。

竹生らは将来植物となる原始葉や幼根などには B_1 蛍光はみとめがたいとのべているが、著者の見解はむしろその逆である。すなわち、植物は人や動物の食用になるために B_1 を作っているのではない。将来植物とな

る原基にこそ、その旺盛な機能の遂行のために多くの B_1 を予蓄しておく必要があるものと考えている。穀類のうち豆類の総 B_1 は以上のべた穀類にくらべるとやや低い。すなわち、大豆(北海道産)や小豆(京都府産)では胚芽の各部位で一段低い(Ⅱ)程度を示すことから、この豆のもつ低い B_1 量は産地による差違と考えるよりも、むしろ、豆のもつ基本的な性質であることが理解される。

次に胚乳に含まれる B_1 についてみると、一般に蛋白質(グルテンなど)の多い上層に位置する糊粉層に多く(Ⅲ)、かつ B_1 の蛍光は細顆粒状を示すことが多いが、下層にあたる澱粉層ではやや少なく(Ⅱ)を示し、この部の B_1 蛍光は時に粗大顆粒状として現われることなど、その所在の異なるにしがって B_1 蛍光の輝きにも多少の差違をみることを知り得たのである。

そうして胚乳のこのような B_1 の所見は各種の穀類に共通のことといえる。その他では動物の血管に当る維管束に B_1 の多いことも当然であろう。

次に外皮についてみると、ここは B_1 の少ない所在であり、そのうちでも種皮の方(+)が外側の果皮(±)よりもやや多い結果を得ている。果皮はちょうど動物の皮膚の表皮に当るが、この表皮と同様に多層よりなり、次第に外側にゆくにしたがって分化して細胞成分を失い線維状となり、最外側は Cuticula のごとく硬く、従って、水分などの侵入を防ぐ用をなしているため B_1 量の少ないことも当然のことと考えられる。内側の種皮は一般にやや薄い動物皮膚とくらべると基底細胞層に当ろう。この層は B_1 の量は上述のごとく心持ち多い。このような外皮の B_1 所見も一般穀類に普遍性をもっている。

玄米の B_1 の分布像を荒木らの方法で実施した竹生らは扉組織や外胚葉、表皮層に特に多いとのべており、また、Simpson は盤状帯と胚葉に近接した胚乳に最高の B_1 分布があると報告している。このことは一見著者の成績と異なっているようにも受けとれるが、実はそうではない。一般に穀類は温度と湿度の影響をうけやすく、外気の状態のいかんによって、いわゆる「芽に動き」が現われやすい。このような時期には胚芽の各部の分化、増殖、発育は活発となり、従って、 B_1 も竹生らのいう部位に移動することは容易に考え得られることである。また、Simpsonの B_1 の多いという部位は胚芽の成長に際して必要とするいろいろの酵素の産生部位に当るわけであるから、この働きを助成するためにも B_1 が多くなることもよく理解され得るものである。観察の時期の多少のちがいによりこのような結

果もおこり得るわけであろう。しかし、著者の実験成績は平の玄米についての B_1 分布の成績とほぼ一致している。

次に玄米に手を加えた米についてみると、5分つき米では外皮の部分的破壊欠損のため、この部に存在する B_1 の量(+~+)が減少(+~-)していること、さらに、またこの破壊された外皮につづく胚乳からも B_1 の消失することはむしろ当然のことと考えられる。しかし、胚芽を被う外皮は厚いから5分つき程度ではまだ破られておらない。従って、胚芽の各部位からの B_1 の損失や移動もほとんどみとめられないことも了承し得た事柄である。しかし、7分つき米となると考えは全く変わってしまう。すなわち、この場合には胚乳を被う外皮はむしろのこと胚芽を被う厚い外皮すらも破壊され、胚芽や胚乳の部分的な欠損状態も強くなることから第9表に示すごとく、 B_1 はほとんど消失している。ただ、胚盤のみは残存しているの、ここではなお相当量(卅~卅)の B_1 をのこしているわけである。

さらに精白米となると7分つき米で残存した胚盤もすでに破壊して脱落しているため、胚芽は殆んど全く欠損している。従って、 B_1 もまた当然著しく減少するものであらうと思われる。しかし、胚乳の糊粉層および澱粉層においては7分つき米や精白米においてもなお(+~+)程度の B_1 の遺残することは胚乳の相当部分が保存されているためといえよう。

次に米を炊飯するとき、われわれの習慣として通常これを洗うが、その洗いが軽度か(3回洗い)、とぎ洗い(10回洗い)かで B_1 の流出がかなり違うという先入観をもつものである。しかし、玄米や5分つき米のように外皮が完全に、または胚芽を被う部分でよく保持されていると、たとえ、米の洗いがどのようであっても米の浸水時間が短かければ、 B_1 の外部への流出や各層相互間の B_1 の移動はきわめて少ないことを知り得たのである。しかし、7分つき米では外皮はすでに破壊され胚芽と胚乳の一部が欠損している状態では水洗度の重なるごとに内部の B_1 の外部への移動がはげしくおこることはむしろ当然のことといえる。

さらに、われわれが愛用する精白米については上記にも述べたように7分つき米以上に強い破壊があるからこれをさらに水洗すれば少ない B_1 がさらに流出する点では最低であらう。

次に各種加工の米を炊飯する時は炊飯時の圧力の加え方にもよろうが、加温、水浸による細胞組織の変化とともに玄米、5分つき米、7分つき米、精白米のいずれにおいても B_1 の外部への流出が多いことが実証さ

れ得たのである。

しかし、強いていえば各部位からの B_1 の流失にもいくらかの差違がみられる。これは B_1 のあり方、すなわち、結合型か遊離型であるかの問題もこのような B_1 の遺残に関係することを考え、著者は現在この両型の分離実験をも併せ実施中である。

いずれにしても、精白米とその水洗いや炊飯によってのこる B_1 量のあまりにも少ないことを知り、これを主食とすれば B_1 欠乏症としてアセトン体の蓄積などによる血液の ketosis や acidosis, また脚気症状のおこることもむしろ当然なことである。

都市生活における B_1 強化米、農村地域の5分つき米や米麦混合食普及などがさらに一層拡充されることを望むものである。このように主婦の座にいるわれわれ女性の化学知識に対する無関心さから誤った調理方法が昔より横行していることはほかにも案外多いと思われる。 B_1 については上記の精白米食が問題であるが、その他、たとえば大根、かぶらの類の青い葉を捨てたり、果実や大根の皮を厚く剥く習慣などもまさにそれであり、是非ともわれわれの時代において改むべきものであることを痛感している。

また、大麦、小麦、えんばくの類は米麦混合食やパン、味噌、醤油、ビールなどの原料としての用途のあることは周知のところであり、いずれも玄米とほとんど同じ程度の B_1 を含有していることは上記に度々のべたところであって B_1 のよい給源である。

また、あわ、ひえも昔より日本人の常食としていたことは謡の「鉢木」、「邯鄲」などによっても知られ、また、地方の民謡にも残っていることからよく知られている。とうもろこしは15世紀頃、ポルトガル人によって日本へもたらされたといわれる。さらに、大豆、小豆の類は B_1 の量においてこそ以上のべた数種のものにやや劣るが、いずれも日用品としての用途はひろい。しかし、消化と味の点で、あわ、ひえ、とうもろこし、豆類は米に一步ゆずるし、また、水浸、煮沸によって厚い外皮を被るにもかかわらず B_1 の流失が案外多いのはその外皮のもつ特異性、すなわち、結合のゆるさなどに基因するものであらうか。いずれにしても栄養源としての用途とともに B_1 の損失をも来さぬような工夫がなされねばならない。

以上は著者が螢光法により光学顕微鏡によってとらえ得た知見を基とした著者の考えであるが、このような B_1 が細胞内の小器管(Organelle)のどこで作られ、また、植物それ自身のどのような代謝に関係しているかなどは興味深い、電顕オーダーにおいてさらに開

明されねばならない。それらについても著者はいずれ機会を得て発表したいと考えている。

V. む す び

I. 著者は穀類の玄米、大麦、小麦、えんばく、おわ、ひえ、とうもろこし、大豆、小豆およびその調理品の総 B_1 量をチオクローム法により組織化学的に検索した。

II. 穀類の総 B_1 の分布は胚芽に最も多く、次いで胚乳に多いが外皮では少ない。

III. 玄米、5分つき米では胚芽はなお保持され、従って総 B_1 は多い。

IV. 7分つき米、精白米では胚芽および胚乳の一部も破壊、脱落するため B_1 量は減少する。

V. 水洗いによりなお外皮が保存された状態（玄米、5分つき米）では B_1 の流出は案外少ない。

VI. 7分つき米、精白米の水洗いではかなりの B_1 が流出する。

VII. 炊飯では内部にある B_1 の外部への強い浸出移動がおこる。

VIII. 厚い外皮に包まれた大豆、小豆、とうもろこしでもその水煮によって B_1 の浸出消失が相当にみられる。

最後に本研究の御指導をいただいた荒木正哉教授に深く感謝します。なお、本研究の一部は昭和44年度文部省科学研究費ならびに本学文理科学研究費の援助によったものであり、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 平博：京都府医大誌，59，549（1956）
- 2) 竹生，谷，桜井：食研報告書，9，61～64（1954）
- 3) 谷，竹生，桜井：食研報告書，9，65～70（1954）
- 4) 谷，竹生，桜井：食研報告書，9，71～76（1954）
- 5) Somers G, Fred et al., : Cereals Chem., 22, 333～299（1951）
- 6) Pollock J. Mashall et al., : Cereals Chem., 28, 289～299（1951）
- 7) Simpson. I. A., : Cereals Chem., 28, 259～270（1951）
- 8) 上西薫：生化学，22，89（1950）
- 9) 戸川義次他：食用作物（1968）
- 10) Katherine Esau：Anatomy of Seed Plants（1966）
- 11) 富士川游：日本医学史
- 12) ビタミン学会編：ビタミン研究50年史（昭和36年）

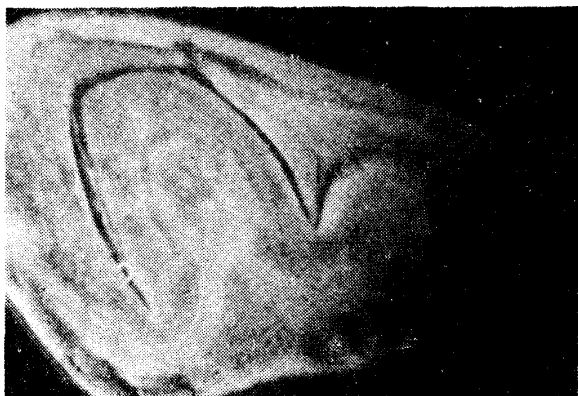


写真2 玄米の胚芽 (×28)

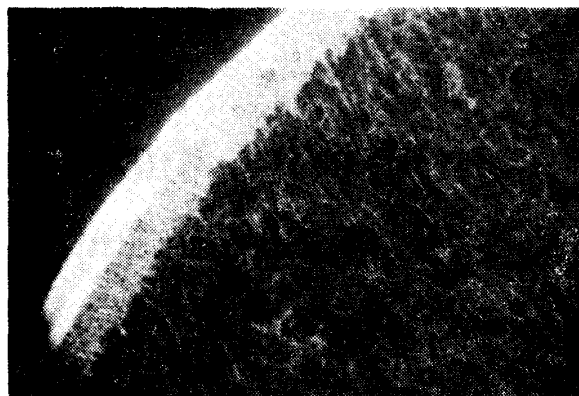


写真3 玄米の胚乳 (×28)

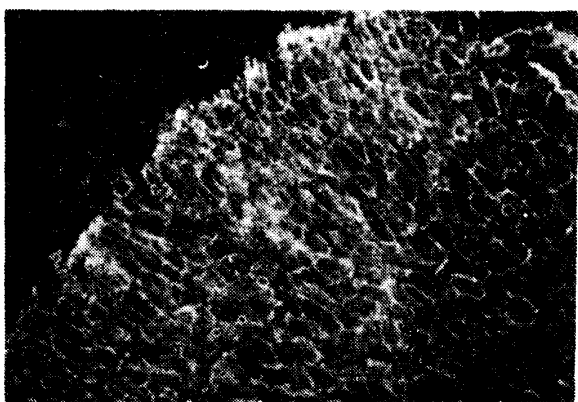


写真4 白米の胚乳 (×28)

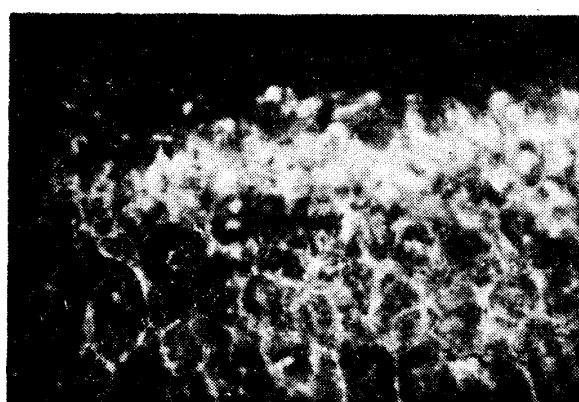


写真5 強化米の胚乳 (×28)



写真6 玄米飯の胚芽 (×28)

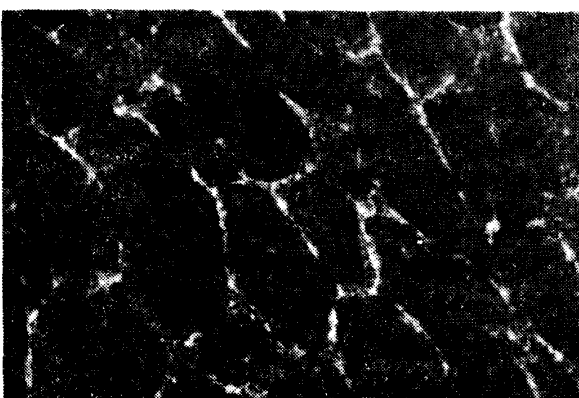


写真7 米白米の胚乳 (×70)



写真8 とうもろこしの胚乳 (×70)

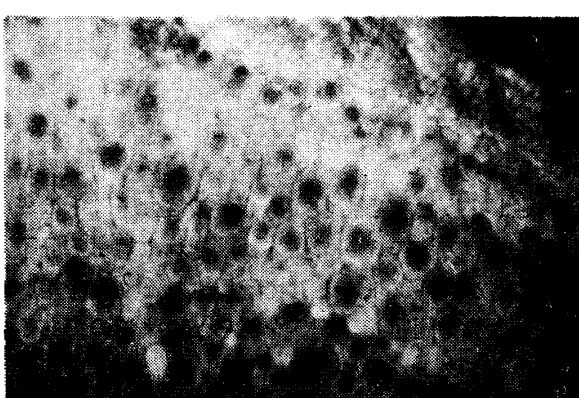


写真9 大豆の子葉 (×70)

備考 1. B₁蛍光は写真では白く見える